



III-203 - ESTUDO DE PRÁTICAS ALTERNATIVAS DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS, VISANDO À GERAÇÃO DE ENERGIA POR FONTES RENOVÁVEIS E MINIMIZAÇÃO DA DEMANDA ENERGÉTICA

Regina Mambeli Barros⁽¹⁾

Engenheira Civil pela Unitau. Doutora e Mestre em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC/USP). Professora Adjunta II da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI).

Geraldo Lúcio Tiago Filho

Engenheira Mecânico pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI). Doutor em Hidráulica pela Universidade de São Paulo (USP) e Mestre em Engenharia Mecânica na área de Máquinas de Fluxo pela UNIFEI. Professor Titular da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI).

Endereço⁽¹⁾: Av. BPS, 1303 - Bairro Pinheirinho - Itajubá-MG - CEP: 37500-903, tel.: (35) 36291224 - fax: (35) 36291265 - e-mail: mambeli@unifei.edu.br.

RESUMO

Atualmente, buscam-se no mundo inteiro, práticas alternativas de gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), com o objetivo de minimizar o impacto ambiental pela disposição dos mesmos em aterros sanitários (AS) e a demanda por energia na fabricação de novos produtos. Diante do exposto, buscou-se no presente estudo quantificar a demanda energética inerente a dois cenários propostos: sem reciclagem e compostagem dos RSU (cenário 1) e com reciclagem e compostagem destes (cenário 2). A geração de biogás do AS também foi estimada e comparada para os dois cenários. Para tal, os softwares WARM® e LandGem®, ambos da United States Environmental Protection Agency (USEPA), foram utilizados. Os resultados obtidos demonstraram os benefícios da reciclagem e compostagem dos RSU, assim como da reciclagem apenas, do ponto de vista ambiental, sobretudo energético.

PALAVRAS-CHAVE: Reciclagem, Compostagem, Metano, Demanda por Energia.

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, intensificou-se no mundo inteiro, a busca por fontes de energia que liberem menor quantidade de gases nocivos à atmosfera, tais como os gases com efeito estufa (*GreenHouse Gases*, GHG). Os gases que mais contribuem para o GHG são os dióxidos de carbono, os CFC, o metano, o vapor d'água, o ozônio e óxido nitroso. Uma das principais fontes de emissões de metano – com potencial de aquecimento global 21 vezes superior ao dióxido de carbono –, são os aterros sanitários para disposição de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU).

Desse modo, a prática da reciclagem de materiais vem se difundindo no mundo inteiro, por diversas razões, a saber: necessidade de economia de energia e recursos naturais para fabricação de novos materiais, redução da quantidade de RSU encaminhados aos aterros sanitários, aumento da vida útil dos aterros sanitários (AS), entre outras.

Nesse contexto, a energia limpa abarca tanto a eficiência energética, quanto opções de abastecimento com energias limpas, tais como uma combinação altamente eficiente de calor e eletricidade, assim como fontes de energia renováveis. No contexto da eficiência energética, há que se buscar a otimização energética na reciclagem de materiais oriundos da massa de RSU, assim como a quantificação de GHG associados à reciclagem dos mesmos. Nesse sentido, é de grande valia quantificar as reduções das emissões de GHG, e balanço energético de diferentes práticas de tratamento e disposição final dos diversos materiais que compõem os RSU.

Diante deste contexto, o presente estudo objetivou avaliar teoricamente a produção de biogás do AS de Paraisópolis-MG, visando ao aproveitamento energético, e a energia demandada para diversos cenários de gerenciamento de materiais recicláveis da massa de RSU no mesmo município.



OBJETIVOS

O objetivo do presente estudo foi quantificar teoricamente e comparar a demanda energética para diferentes cenários de gerenciamento de materiais recicláveis da massa de RSU do município de Paraisópolis-MG, assim como avaliar a produção de biogás do aterro sanitário municipal para os mesmos cenários e visando ao aproveitamento energético.

MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo foi dividido em duas etapas, ambas teóricas, a de quantificação do balanço energético e de geração de GHG, intrínsecos às várias práticas de gerenciamento, e a fase de estimativa da produção de biogás do AS.

ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo consistiu no município de Paraisópolis-MG, para o qual se propôs, no presente estudo, um sistema de tratamento de resíduos sólidos (RS), por meio do dimensionamento da área necessária a um AS (figura 1). A área para o mencionado aterro foi calculada por Teixeira (2007), para duas diferentes situações (tabela 1): a primeira consistiu em uma área necessária para tratamento e disposição final da quantidade total coletada de RSU; e a segunda para o dimensionamento da área necessária para um aterro sanitário de rejeitos de uma usina de triagem e compostagem.

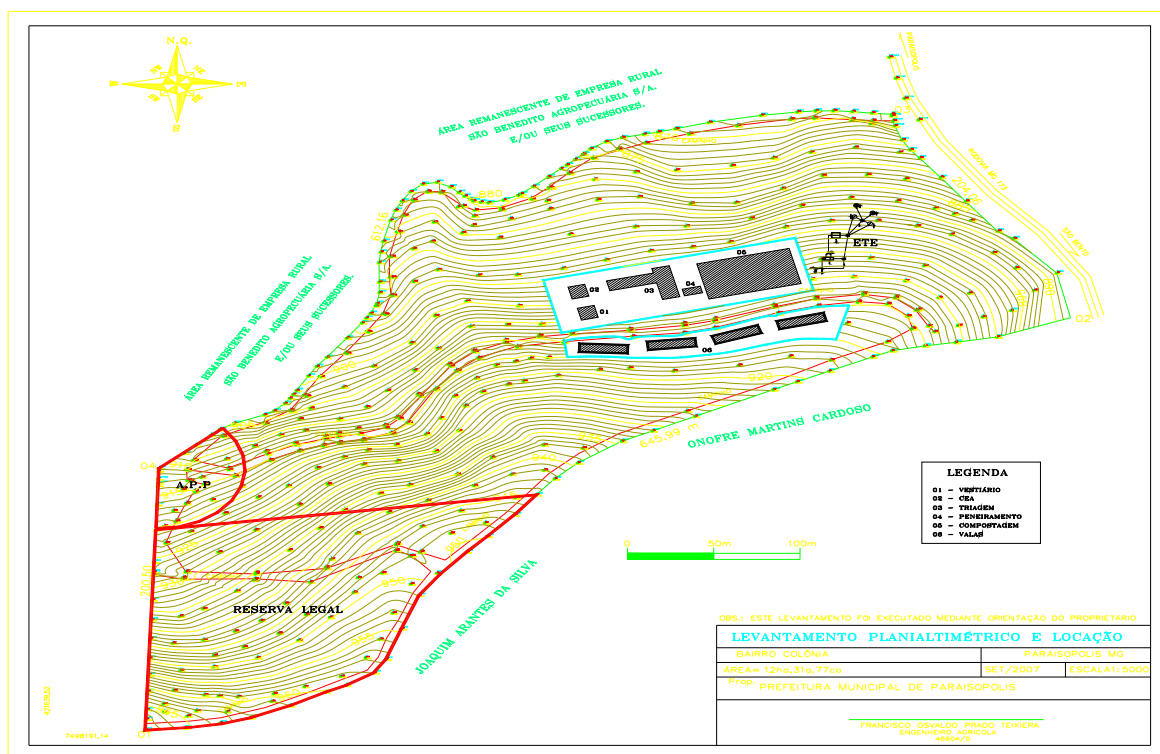


Figura 1: Levantamento planialtimétrico da área destinada ao aterro sanitário. Fonte: JÓRIO (2007)

No presente estudo foram utilizadas a composição gravimétrica (tabela 2) e a quantidade total de geração de RSU apresentadas em Teixeira (2007) para o período entre 2007 e 2017.

**Tabela 1: Quantidade calculada de resíduos sólidos urbanos para o município de Paraisópolis-MG.**

Ano	População	Quantidade calculada de RSU (ton/ano)	
		Sem Compostagem	Com Compostagem
1	19.305	4380	546
2	19.624	4497	560
3	19.947	4617	575
4	20.611	4818	600
5	20.951	4946	616
6	21.297	5078	633
7	21.648	5214	650
8	22.005	5353	667
9	22.368	5495	685
10	22.738	5642	703

Fonte: adaptado de Teixeira (2007)

Tabela 2: Composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos do município de Paraisópolis-MG

Componentes	Composição gravimétrica ¹	Composição gravimétrica ²
Matéria orgânica	73,02%	73,02%
Papeis / papelão	8,35%	8,35%
Plástico duro / PET	2,69%	8,69%
Plástico filme	6,00%	
Metais não ferrosos	0,25%	3,15%
Metais ferrosos	2,90%	
Vidro	1,50%	1,50%
Borracha	0,07%	
Couro	0,61%	5,29%
Trapos	1,10%	
Outros	3,51%	
TOTAL	100,00%	100,00%

Nota: ¹ modificado de SILVEIRA (2006).² considerado no presente estudo para atender às especificações disponíveis no *software* WARM® (USEPA, 2005a).

DEMANDAS ENERGÉTICAS

De posse dos dados da composição gravimétrica dos RSU de Paraisópolis-MG e do prognóstico de geração dos mesmos por um período de 10 anos (2007-2017), procedeu-se ao cálculo das demandas de energia para os cenários simulados. O cenário 1 consistiu da disposição dos RSU no aterro sanitário municipal, e o cenário 2, na prática de reciclagem de 80% dos materiais: vidros, papéis misturados, plásticos misturados, e metais misturados, na prática de e compostagem dos 80% de RSU misturados (borracha, couro, trapo, etc.) e da disposição dos 20% restantes, no aterro sanitário municipal.

Para tal, foi utilizado o *software Waste Reduction Model* (WARM®) da agência de proteção ambiental americana - *United States Environmental Protection Agency* (USEPA). A partir de redução, incineração, compostagem, reciclagem, e a disposição em aterros sanitários. Por intermédio do referido modelo, foram calculadas as unidades da energia (milhões de BTU), por meio das várias práticas dos diferentes tipos de materiais frequentemente encontrados nos RSU. (USEPA, 2005a). Os fatores de emissão dos materiais considerados neste estudo estão descritos na tabela 3.

Tabela 3: Fatores de energia por tonelada curta

Fatores de energia	Material / Prática de gerenciamento	Vidro	Papel Misturado	Plásticos misturados	Metais misturados	Materiais orgânicos misturados	RSU misturados
Milhões de BTU	Reciclagem	-2,13	-22,94	-52,42	-74,81	N/A	N/A
	Aterramento, queima de biogás	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53
	Compostagem	N/A	N/A	N/A	N/A	0,58	N/A

Nota: N/A – Não aplicável.

Fonte: adaptado de USEPA (2008).

BIOGÁS DO ATERRO SANITÁRIO

Para cálculo do biogás gerado no AS municipal de Paraisópolis-MG, foi utilizado o *software Landfill Gas Emissions Model* (LandGEM®) v.3.02 (USEPA, 2005b), a saber: metano, dióxido de carbono e compostos orgânicos não-metano (NMOs). O referido *software* possui dois conjuntos de parâmetros-padrão, os valores do CAA (*Clean Air Act*) e valores de inventário, sendo que estes últimos são baseados em fatores de emissão disponíveis na obra de compilação dos fatores de emissão de poluentes atmosféricos (AP-42) da USEPA (s/d). O LandGEM® é um modelo com base em uma equação de decomposição de primeira ordem (equação 1), para quantificar as emissões de gases de RS dispostos em AS municipais.

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0,1}^1 k \cdot L_0 \cdot \left(\frac{M_i}{10} \right) \cdot e^{-k \cdot t_{i,j}} \quad (\text{equação 1})$$

Onde:

Q_{CH_4} : é a geração anual de metano no ano calculado (m³/ano);

i = 1 incremento de tempo anual;

n = (ano de cálculo) – (ano inicial de recebimento de RS) ;

j = 0,1 incremento de tempo anual;

k = taxa de geração de metano (ano⁻¹);

L_0 = capacidade potencial de geração de metano (m³/Mg);

M_i = massa de RS aceita no i-ésimo ano (Mg);

$t_{i,j}$ = idade da j-ésima seção da massa de RS M_i aceita no i-ésimo ano (anos decimais, por exemplo, 3,2 anos).

A estimativa da produção de dióxido de carbono (Q_{CO_2}) é calculada pelo *software* LandGEM®, por meio da equação 2, a partir da produção de metano (Q_{CH_4}) e do teor percentual de metano (P_{CH_4}).

$$Q_{CO_2} = Q_{CH_4} * \left\{ \left[\frac{1}{(P_{CH_4}/100)} \right] - 1 \right\} \quad (\text{equação 2})$$

RESULTADOS

Os resultados apresentados no presente estudo incluem os valores obtidos para as demandas energéticas e os valores calculados para geração de biogás do aterro, para cada cenário avaliado.

DEMANDAS ENERGÉTICAS

O gráfico da Figura 1 apresenta os valores obtidos para as demandas energéticas para os cenários 1 e 2.

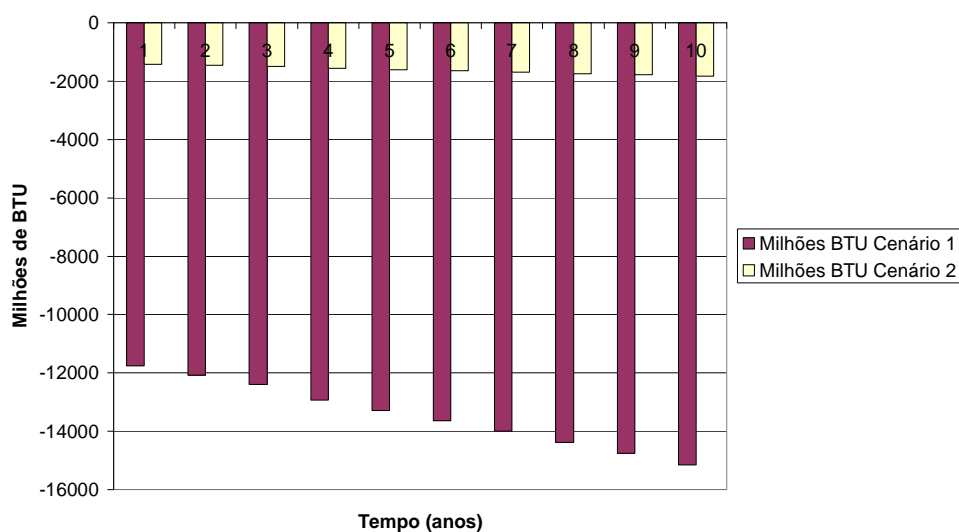


Figura 1: Estimativas das demandas energéticas das práticas de gerenciamento dos RSU de Paraisópolis-MG, para os cenários 1 e 2.

Observa-se do gráfico da Figura 1 que há uma demanda por energia no ano 1 de 11.765 milhões de BTU no cenário 1, e de 1.427 milhões de BTU para o cenário 2, indicando um valor relevante de decréscimo de energia demandada. Esta tendência é verificada em todos os anos, por exemplo, no ano 5 os valores calculados foram de 13.286 milhões de BTU e de 1.610 milhões de BTU, respectivamente, para os cenários 1 e 2. No ano de 2017, os mencionados valores foram de respectivamente, 15.155 milhões de BTU e 1.837 milhões de BTU, para os cenários 1 e 2. Os valores encontrados para as demandas energéticas do cenário 2 representaram cerca de 12,12% dos valores calculados para o cenário 1.

BIOGÁS DO ATERRO SANITÁRIO

As diferenças nos valores estimados da geração de biogás por intermédio do uso do *software* LandGEM® (USEPA, 2005), para os cenários 1 e 2 estão apresentadas no gráfico da Figura 2.

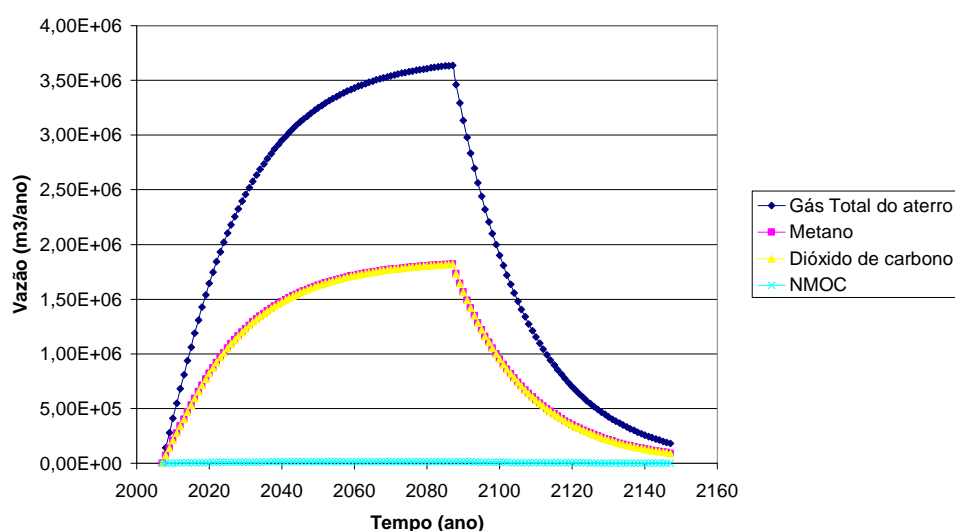


Figura 2: Diferenças nas estimativas de emissões de gases do aterro sanitário municipal de Paraisópolis-MG, entre os cenários 1 e 2.

Com base no gráfico da Figura 2, foi possível estimar que relativamente aos gases totais do aterro, o valor de pico seria evitada a geração de $3,64 \cdot 10^6$ (m³/ano), em 2087; com relação ao metano e dióxido de carbono, tais



valores seriam equivalentes- em função da porcentagem assumida pelo LandGEM® ser de 50% para cada um, e foi calculada como sendo $1,82.10^6$ (m^3/ano), também em 2087.

Para os NOMC, o valor de pico de prevenção de emissão foi alcançado em 2087 e foi de $1,46.10^4$ (m^3/ano). Os valores totais de produção de gases estimados que seriam evitados, a partir dos valores simulados com o LandGEM®, entre os anos de 2007 e 2147, para os gases totais do aterro, metano, dióxido de carbono e NMOC, foram de respectivamente $2,89.10^8 m^3$, $1,45.10^8 m^3$, $1,45.10^8 m^3$ e $1,16.10^6 m^3$.

Considerando a densidade do metano como $0,7174 kg/m^3$, e do dióxido de carbono como $1,98 kg/m^3$, os valores totais de gases produzidos seriam de $1,04.10^8 kg$ ($1,04.10^5 ton$) para o metano e $2,86.10^8 kg$ ($2,86.10^5 ton$) para o dióxido de carbono. Tais valores representam os valores médios anuais de geração de $1,30.10^3 (ton_{CH_4}/ano)$ e de $3,58.10^3 (ton_{CO_2}/ano)$.

CONCLUSÕES

Foram estudados dois cenários de práticas de gerenciamento de RSU do município de Paraisópolis-MG, com os softwares WARM® e LandGem®, ambos da USEPA.

Com base nos cálculos elaborados a partir das simulações foi possível concluir que a prática da reciclagem reduz a demanda por energia em 87,88% em média para o período estudado. Os valores totais de produção de gases estimados que seriam evitados entre os anos de 2007 e 2147, para os gases totais do aterro, metano, dióxido de carbono e NMOC, foram calculados como de respectivamente $2,89.10^8 m^3$, $1,45.10^8 m^3$, $1,45.10^8 m^3$ e $1,16.10^6 m^3$. Foi possível concluir também que haveria a não-geração de valores representam os valores médios anuais de geração de $1,30.10^3 (ton_{CH_4}/ano)$ e de $3,58.10^3 (ton_{CO_2}/ano)$.

Desse modo, demonstrou-se que a reciclagem de RSU é benéfica tanto do ponto de vista ambiental, no que tange ao gerenciamento dos mesmos, quanto no que concerne à demanda por energia. Verificou-se também que há geração de metano até o ano de 2147, com alcance do pico de geração de biogás em 2087. Caso não haja compostagem do material orgânico presente nos RSU, existe a possibilidade de utilização do biogás do aterro sanitário, com incremento de um valor médio anual de metano de $1,13.10^3 ton$.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. JÓRIO, R. R. L. Levantamento planialtimétrico e locação da área do AS. 2007. 1 mapa, color. Escala 1:5.000.
2. TEIXEIRA, F. O. P. Tratamento e destinação final de resíduos sólidos urbanos: estudo de caso do aterro sanitário do município de Paraisópolis-MG. 41 p. Monografia (Especialização em Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Instituto de Recursos Naturais da Universidade Federal de Itajubá (IRN/UNIFEI), Itajubá. 2007.
3. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA. Global Warming – Waste: Waste Reduction Model (WARM). Washington DC: USEPA, 2005a. Disponível em: <<http://yosemite.epa.gov/OAR/globalwarming.nsf/content/ActionsWasteWARM.html>>. Acesso em 05 jul. 2008.
4. _____. Landfill Gas Emissions Model (LandGEM) Version 3.02 User's Guide. Washington DC: USEPA, 2005b. 56 p. Report EPA-600/R-05/047.
5. _____. Compilation of Air Pollutant Emission Factors (AP-42), Volume 1: Stationary Point and Area Sources, 5th ed., Chapter 2.4: Municipal Solid Waste Landfills. EPA, Office of Air Quality Planning and Standards. Research Triangle Park, NC.